

کاربرد هوش مصنوعی در زنجیره تأمین غذا

سمیه عزیزنیا^۱، رضا عطایی^۲

۱. استادیار گروه بهداشت و صنایع غذایی، دانشکده پیرادامپزشکی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (نویسنده مسئول). رایانامه: s.aziznia@ilam.ac.ir

۲. گروه بهداشت و صنایع غذایی، دانشکده پیرادامپزشکی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: ataiereza81@gmail.com

صص: ۴۹-۵۸

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۲۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۴/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۶

چکیده

هوش مصنوعی به عنوان یکی از فناوری‌های پیشرفته عصر حاضر، در صنعت کشاورزی و تأمین غذا تحولات چشمگیری ایجاد کرده است. این فناوری با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی مصنوعی، کاربردهای گسترده‌ای در بهینه‌سازی تولید، نظارت کیفی، و مدیریت زنجیره تأمین غذا دارد. از جمله مزایای آن می‌توان به کاهش مصرف آب و سموم، افزایش بهره‌وری، کاهش ضایعات غذایی، و طراحی محصولات شخصی‌سازی شده اشاره کرد. با این حال، پیاده‌سازی هوش مصنوعی با چالش‌هایی مانند هزینه‌های زیاد، نگرانی‌های اخلاقی و نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته روبرو است. زنجیره تأمین غذا، با بهره‌گیری از هوش مصنوعی می‌تواند بهره‌وری و پایداری تولید را افزایش دهد. این فناوری نه تنها کیفیت و سلامتی محصولات کشاورزی را بهبود می‌بخشد، بلکه با تحلیل داده‌های بزرگ، تصمیم‌گیری‌های هوشمندانه‌تری را امکان‌پذیر می‌سازد. با وجود چالش‌های موجود، آینده صنعت کشاورزی و غذا به شدت تحت تأثیر پیشرفت‌های هوش مصنوعی قرار خواهد گرفت و نیازمند همکاری بین بخش‌های مختلف برای غلبه بر موانع است. در این بررسی، نقش هوش مصنوعی در بهینه‌سازی زنجیره تأمین غذا، از تولید تا مصرف، و چالش‌ها و نگرانی‌های اخلاقی آن بررسی شده است.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی تولید، صنعت غذا، کاهش ضایعات، کشاورزی هوشمند، هوش مصنوعی.

مقدمه

هوش مصنوعی^۱ به عنوان یکی از پیشرفته ترین فناوری های عصر حاضر، توانایی شبیه سازی فرایندهای شناختی انسان مانند یادگیری، استدلال و حل مسئله را دارد. این فناوری با استفاده از الگوریتم های پیچیده و داده های بزرگ، قادر به خود کارسازی وظایف، بهبود دقت و افزایش بهره وری در صنایع مختلف است. در صنعت کشاورزی و غذا، هوش مصنوعی با استفاده از روش های یادگیری ماشین، از جمله یادگیری عمیق و شبکه های عصبی مصنوعی، تحولات چشمگیری ایجاد کرده است. برای مثال، این فناوری در تشخیص بیماری های گیاهی، پیش بینی عملکرد محصول و مدیریت منابع طبیعی مانند آب و خاک به کار گرفته شده است (رجب و همکاران، ۲۰۲۲).

صنعت غذا یکی از مهم ترین بخش های اقتصادی جهان است که تأمین امنیت غذایی و سلامت جامعه به آن وابسته است. با افزایش جمعیت و تغییر سبک زندگی، تقاضا برای غذاهای باکیفیت، مغذی و آماده مصرف رشد چشمگیری داشته است. این امر استفاده از فناوری های پیشرفته، مانند هوش مصنوعی، را برای بهینه سازی فرایندهای تولید و توزیع ضرورت بخشیده است (هاو و همکاران، ۲۰۲۰). هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای هوشمند، چالش هایی مانند کاهش زمین های کشاورزی، تغییرات آب و هوایی و آلودگی محیط زیست را مدیریت می کند. یکی از کاربردهای جالب توجه هوش مصنوعی در صنعت غذا، طراحی محصولات جدید بر اساس ترجیحات مصرف کنندگان است. با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین، شرکت ها می توانند ترکیبات بهینه ای را برای غذاهای سالم و شخصی سازی شده پیشنهاد دهند. این فناوری به تولید محصولات سالم تر، مانند نوشابه های رژیمی و شیرهای کم چرب، کمک کرده است بدون آنکه از طعم و کیفیت آن ها کاسته شود (گویال و کومار گویال، ۲۰۱۲). هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای نوین در حوزه هایی مانند کشاورزی دقیق، فراوری مواد غذایی، بسته بندی و توزیع، به بهبود کیفیت و کاهش ضایعات کمک می کند. به عنوان مثال،

در کشاورزی، از الگوریتم های هوش مصنوعی برای پیش بینی آفات و بهینه سازی آبیاری استفاده می شود (هاو و همکاران، ۲۰۲۰). این فناوری ها به کشاورزان کمک می کنند تا با کمترین منابع، بیشترین بازدهی را داشته باشند. با وجود مزایای فراوان، پیاده سازی هوش مصنوعی در صنعت غذا با چالش هایی مانند هزینه های زیاد و نیاز به زیرساخت های پیشرفته همراه است. مثلاً کشاورزان خرده پا ممکن است به دلیل محدودیت مالی نتوانند از این فناوری ها استفاده کنند. علاوه بر این، نگرانی های اخلاقی درباره حریم خصوصی داده ها و وابستگی بیش از حد به فناوری نیز وجود دارد که به تدوین سیاست های شفاف نیازمند است (ولفرت و همکاران، ۲۰۱۷). در این مطالعه، نقش فناوری و مزایا و چالش های آن در تولید محصولات کشاورزی، از تولید تا مصرف، بررسی شده است.

دستاورد

کاربرد هوش مصنوعی در فرایند تولید محصولات کشاورزی

آدمواره^۲ های کشاورز و خود کارسازی عملیات

آدمواره های مجهز به بینایی ماشین و هوش مصنوعی، تحول بزرگی در عملیات کشاورزی ایجاد کرده اند. این آدمواره ها می توانند علف های هرز و آفات و بیماری های گیاهی را با دقت بالای ۹۵ درصد شناسایی کرده و عملیات سم پاشی را به صورت هدفمند انجام دهند (شکل ۱). نتایج یک شرکت نوآفرین^۳ نشان داد که با به کارگیری این فناوری، مصرف سموم تا ۹۰ درصد و هزینه های نیروی انسانی تا ۴۰ درصد کاهش یافته است (ماوانی و همکاران، ۲۰۲۲). این پیشرفت ها، بهره وری و پایداری در کشاورزی را افزایش داده اند.

1. Artificial Intelligence (AI)

2. Robot

3. Startup

مناسب به میزان کافی استفاده کرده و از آلودگی محیط زیست جلوگیری کنند (کامیلاریس و پرنافتا بولدو، ۲۰۱۸). شکل ۲ تصاویری از آدمواره‌های نمونه بردار خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۲. تصاویری از آدمواره‌های نمونه بردار خاک (نوربی و همکاران، ۲۰۲۴)

بهینه‌سازی مصرف انرژی در گلخانه‌ها

هوش مصنوعی با نظارت خودکار سامانه‌های گرمایش، سرمایش و نوررسانی در گلخانه‌ها، مصرف انرژی را بهینه می‌کند. این فناوری با تحلیل داده‌های محیطی، شرایط ایدئال برای رشد گیاهان را فراهم کرده و بازدهی محصولات را افزایش می‌دهد (بن عیاد و هنانه، ۲۰۲۱).

پیش‌بینی عملکرد محصول

الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تحلیل داده‌های تاریخی و شرایط جوی، عملکرد محصول را در پایان فصل پیش‌بینی کنند. این اطلاعات به کشاورزان کمک می‌کند تا برای فروش و ذخیره‌سازی محصولات برنامه‌ریزی بهتری داشته باشند (کریشنا، ۲۰۱۶).

کاربرد هوش مصنوعی در فراوری محصولات کشاورزی

تشخیص ناخالصی‌ها

سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با بهره‌گیری از فناوری پردازش تصویر و الگوریتم‌های یادگیری عمیق، کوچک‌ترین ناخالصی‌ها و عیوب محصولات غذایی را با دقتی بی‌سابقه تشخیص می‌دهند. برای مثال، الگوهای شبکه عصبی پیچشی^۲



شکل ۱. نمونه‌ای از آدمواره کشاورز خودران از شرکت جان دیر با سامانه بینایی ماشین و هوش مصنوعی، شامل فناوری‌های «بینایی و افشانه»

شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند تصاویر ماهواره‌ای از مزارع را تحلیل و مناطق آلوده به آفات را شناسایی کنند. این سامانه‌ها با ارائه الگوریتم‌هایی به کشاورزان کمک می‌کنند تا سم‌پاشی را تنها در مناطق مورد نیاز انجام داده و مصرف سموم را تا ۵۰ درصد کاهش دهند (ولفر و همکاران، ۲۰۱۷؛ میراندا و همکاران، ۲۰۱۹). آدمواره‌های مجهز به هوش مصنوعی می‌توانند عملیات کاشت بذر را با دقت میلی‌متری انجام دهند. این آدمواره‌ها با استفاده از نقشه‌های رقمی^۱ مزارع، محل دقیق کاشت را شناسایی و از تراکم نامناسب بذرها جلوگیری می‌کنند. همچنین، این فناوری در برداشت محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی و توت‌فرنگی نیز کاربرد دارد و آسیب به محصول را به حداقل می‌رساند (بشار و وینیولت، ۲۰۱۶).

بهبود کیفیت خاک

هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های حاصل از حسگرهای خاک و آب‌وهوا، به کشاورزان در اتخاذ تصمیمات بهینه کمک می‌کند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند ترکیبات شیمیایی خاک را تحلیل کنند و برای بهبود حاصلخیزی آن توصیه‌های دقیقی ارائه دهند. سامانه‌های مبتنی بر یادگیری عمیق می‌توانند سلامت خاک و نیازهای تغذیه‌ای گیاهان را با دقت بالا ارزیابی کنند. این فناوری با شناسایی کمبودهای خاک، مانند نیتروژن یا فسفر، به کشاورزان کمک می‌کند تا از کودهای

1. Digital

2. Convolutional Neural Network

کاهش ضایعات

ترکیب بینایی ماشین و اینترنت اشیا^۱ در نظارت کیفی محصولات غذایی کشاورزی انقلابی ایجاد کرده است. این سامانه‌ها با اسکن محصولات در خط تولید، موارد معیوب را با دقت ۹۸ درصد شناسایی و جدا می‌کنند. شبکه‌های عصبی مصنوعی، تصاویر ماهواره‌ای از مزارع را تحلیل و مناطق آلوده به آفات را شناسایی می‌کنند. این سامانه‌ها با ارائه الگوریتم‌هایی به کشاورزان کمک می‌کنند تا فقط در مناطق مورد نیاز سم‌پاشی کنند و تا ۵۰ درصد از مصرف سموم بکاهند. به عنوان مثال، فناوری‌های استفاده‌شده در برخی از شرکت‌ها توانسته‌اند ضایعات غذایی را تا ۲۰ درصد کاهش دهند (ولفرت و همکاران، ۲۰۱۷). این پیشرفت‌ها نه تنها کیفیت نهایی محصولات را بهبود بخشیده‌اند، بلکه سودآوری تولیدکنندگان را نیز افزایش داده‌اند.

دستور تهیه غذاهای سالم و شخصی‌سازی شده

هوش مصنوعی با تحلیل حجم عظیمی از داده‌های تغذیه‌ای و ترجیحات مصرف‌کنندگان، امکان طراحی محصولات غذایی سالم و متناسب با نیازهای خاص را فراهم کرده است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند ترکیبات بهینه‌ای را پیشنهاد دهند که در عین حفظ طعم و بافت مطلوب، مقدار قند، چربی یا مواد حساسیت‌زا را کاهش دهند. برای مثال، در تولید محصولات لبنی، این فناوری شیرهای کم‌لاکتوز، با طعمی مشابه شیر معمولی، را تولید کرده است (آسترای و همکاران، ۲۰۲۰). در نتیجه، محصولاتی متناسب با نیازهای گروه‌های خاص، مانند بیماران دیابتی یا ورزشکاران، تولید شده است.

کاربرد هوش مصنوعی در توزیع و فروش مواد غذایی

پیش‌بینی تقاضا و بهینه‌سازی انبارداری

هوش مصنوعی، با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته یادگیری

می‌توانند تصاویر محصولات را در خط تولید با سرعت زیاد تحلیل کرده و عیوبی مانند تغییر رنگ، لکه‌های میکروبی یا ناهنجاری‌های ظاهری را شناسایی کنند. در صنایع میوه و سبزی‌ها، این فناوری توانسته است دقت نظارت کیفی را تا ۹۸ درصد افزایش و ضایعات را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد (فان و همکاران، ۲۰۲۰). مزیت اصلی این سامانه‌ها، توانایی تشخیص عیوبی است که حتی از دید متخصصان انسانی نیز پنهان می‌مانند.

نظارت بر خطوط تولید

حسگرهای هوشمند مجهز به هوش مصنوعی، در حوزه نظارت لحظه‌ای بر فرایندهای تولید مواد غذایی تحولی اساسی ایجاد کرده‌اند. این حسگرها که از بینی و زبان الکترونیکی تشکیل شده‌اند، می‌توانند به صورت پیوسته شاخص‌های حیاتی مانند دما، رطوبت، پی‌اچ و ترکیبات شیمیایی را اندازه‌گیری و تحلیل کنند. در صنعت لبنیات، شبکه‌های عصبی مصنوعی با پردازش داده‌های این حسگرها می‌توانند احتمال فساد محصولات را پیش‌بینی کرده و از تولید محصولات نامرغوب جلوگیری کنند (تان و ژو، ۲۰۲۰). این فناوری‌ها، خطوط تولید را به صورت خودکار تنظیم و مانع انحراف از استانداردهای کیفی می‌شوند. با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته محققان می‌توانند بدون نیاز به آزمایش‌های فیزیکی متعدد، تأثیر هزاران ترکیب مختلف بر طعم، عطر و بافت غذا را پیش‌بینی کنند. در صنعت شکلات، سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های طیف‌سنجی نزدیک به مادون قرمز نزدیک و یادگیری ماشین، کیفیت محصول نهایی را با دقت زیاد ارزیابی می‌کنند (گوناراتنه و همکاران، ۲۰۱۹). این روش‌ها نه تنها زمان و هزینه توسعه محصولات جدید را کاهش می‌دهند، بلکه امکان نوآوری‌های منحصر به فرد در صنعت غذا را فراهم می‌آورند.

1. Internet of Things (IoT)

است که می‌توانند هم‌زمان صدها مشتری را در فروشگاه ردیابی کنند. این فناوری نه تنها فرایند پرداخت را ساده می‌کند، بلکه داده‌های ارزشمندی درباره رفتار خریداران جمع‌آوری می‌کند که برای بهینه‌سازی چیدمان فروشگاه و مدیریت موجودی مفید است (برزینا و همکاران، ۲۰۱۹).

پیشنهاد محصولات براساس ترجیحات مشتری (سامانه‌های توصیه‌گر)

سامانه‌های توصیه‌گر هوش مصنوعی در فروشگاه‌های مواد غذایی با تحلیل سابقه خرید، جستجوها و حتی مدت‌زمان نگاه کردن به هر محصول، الگوهای رفتاری مشتریان را شناسایی می‌کنند. برخی از فروشگاه‌های زنجیره‌ای برای ارائه پیشنهادهای شخصی‌سازی‌شده از این فناوری استفاده می‌کنند که تا ۳۵ درصد بر میزان فروش افزوده است (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰). این سامانه‌ها از روش‌های پیشرفته‌ای مانند پالایش مشارکتی و الگوسازی موضوعی استفاده می‌کنند. با بررسی مداوم رفتار کاربران، دقت پیشنهادهای به‌روزرمان بهبود می‌یابد. این فناوری به‌ویژه در فروشگاه‌های برخط مواد غذایی مؤثر است، جایی که می‌تواند محصولات مکمل یا جایگزین‌های سالم‌تر را پیشنهاد دهد (تسوماکاس، ۲۰۱۹).

کاربرد هوش مصنوعی در خدمات غذایی و مصرف

آدمواره‌های آشپز و سفارش‌گیری خودکار

آدمواره‌های آشپز و سامانه‌های سفارش‌گیری خودکار با استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند بینایی ماشین و یادگیری ماشین، در صنعت رستوران‌داری تحولی بزرگ ایجاد کرده‌اند. این سامانه‌ها با دقت بالا غذاها را آماده می‌کنند و به میزان قابل توجهی زمان انتظار مشتریان را کاهش می‌دهند. به‌علاوه، با بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، خطاهای انسانی در فرایند پخت و آماده‌سازی غذا به حداقل می‌رسد. برای مثال،

ماشین، حجم عظیمی از داده‌های تاریخی فروش و عوامل محیطی را تحلیل می‌کند. این سامانه‌ها می‌توانند الگوهای فصلی، تأثیر آب‌وهوا و رویدادهای خاص بر تقاضا را شناسایی کنند. شرکت‌هایی مانند آی بی ام، برای پیش‌بینی دقیق تقاضا و مدیریت بهینه موجودی انبار از سکوی واتسون استفاده می‌کنند که ۲۰ تا ۳۰ درصد هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهند (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰). پیش‌بینی هوش مصنوعی به تولیدکنندگان مواد غذایی کمک می‌کند تا با دقت بیشتری تولید خود را برنامه‌ریزی کنند. این فناوری با تحلیل داده‌های فروش گذشته و روندهای بازار، نیازهای آینده را با دقت بیش از ۹۰ درصد پیش‌بینی می‌کند. این سامانه به‌ویژه برای محصولات فاسدشدنی با ماندگاری محدود، بسیار حیاتی است (شارما، ۲۰۱۹).

کاهش ضایعات غذایی

سامانه‌های هوش مصنوعی مجهز به حسگرها و فناوری اینترنت اشیا می‌توانند شرایط نگهداری مواد غذایی را در سراسر زنجیره تأمین رصد کنند. الگوریتم‌های هوشمند همچنین می‌توانند مسیرهای بهینه توزیع را محاسبه کنند تا مواد غذایی در کوتاه‌ترین زمان ممکن به دست مصرف‌کننده برسند. این سامانه‌ها با در نظر گرفتن عواملی مانند ترافیک، شرایط جوی و اولویت‌های تحویل، مسیریابی هوشمندانه‌ای ارائه می‌دهند که میزان ضایعات در مرحله حمل‌ونقل را کاهش می‌دهد (گار و همکاران، ۲۰۲۰).

فروشگاه‌های بدون صندوق‌دار

فروشگاه‌های بدون صندوق‌دار^۱ از ترکیب فناوری‌های پیشرفته بینایی ماشین، یادگیری عمیق و حسگرهای سه‌بعدی استفاده می‌کنند. این سامانه‌ها حرکات مشتریان را ردیابی کرده و به‌صورت خودکار محصولات انتخاب‌شده را شناسایی می‌کنند. این فناوری تا ۷۰ درصد زمان خرید را کاهش می‌دهد (کلمبوس، ۲۰۲۰). طراحی این سامانه‌ها مبتنی بر شبکه‌های عصبی پیچیده

1. Artificial Intelligence (AI)

برخی رستوران‌ها از آدامواره‌هایی استفاده می‌کنند که می‌توانند کیفیت مواد غذایی را تشخیص داده و فرایند پخت را بهینه‌سازی کنند (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰).

شخصی‌سازی فهرست غذا با تحلیل داده‌های مشتریان

هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های مشتریان ازجمله سوابق سفارش‌ها، ترجیحات غذایی و نظرات آن‌ها، فهرست غذای شخصی‌سازی‌شده طراحی می‌کند. این فناوری نه تنها رضایت مشتریان را افزایش می‌دهد، بلکه از ضایعات غذایی نیز می‌کاهد. برای نمونه، برخی سامانه‌ها برای تحلیل نظرات مشتریان در سکوها‌های مختلف و بهبود فهرست‌های غذایی، از پردازش زبان طبیعی استفاده می‌کنند (لیو و همکاران، ۲۰۲۲).

برنامه‌های توصیه رژیم غذایی

برنامه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های فردی مانند سن، وزن، سطح فعالیت و شرایط پزشکی، برنامه‌های غذایی شخصی‌سازی‌شده ارائه می‌دهند. این برنامه‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، عادات غذایی کاربران را بررسی کرده و برای بهبود سلامت آن‌ها توصیه‌های دقیقی ارائه می‌کنند. برای مثال، برخی برنامه‌های کاربردی با تحلیل تصاویر غذا، ارزش غذایی آن را محاسبه و پیشنهادهای سلامت‌محور ارائه می‌کنند (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰).

تشخیص مواد حساسیت‌زا و ترکیبات مضر

هوش مصنوعی با استفاده از پردازش زبان طبیعی و بینایی ماشین، امکان تشخیص مواد حساسیت‌زا و ترکیبات مضر موجود در مواد غذایی را فراهم کرده است. این سامانه‌ها می‌توانند برچسب‌های محصولات را تحلیل کرده و ترکیبات حساسیت‌زا را شناسایی کنند. برای مثال، برخی برنامه‌های کاربردی با پویش اطلاعات موجود بر روی بسته‌بندی محصولات، به کاربران هشدارهای لازم را ارائه می‌دهند. این فناوری به‌ویژه برای افراد

مبتلا به حساسیت‌های غذایی بسیار مفید است و به آن‌ها کمک می‌کند تا مواد خطرناک را مصرف نکنند (ماوانی و همکاران، ۲۰۲۱).

چالش‌ها و محدودیت‌های هوش مصنوعی

نگرانی‌های اخلاقی و حریم خصوصی داده‌ها

استفاده از هوش مصنوعی در صنعت کشاورزی و غذا مستلزم جمع‌آوری و پردازش حجم عظیمی از داده‌ها ازجمله اطلاعات مربوط به خاک، آب، محصولات و رفتار مصرف‌کنندگان است. این موضوع در زمینه حریم خصوصی و سوءاستفاده از داده‌ها، نگرانی‌هایی را به همراه دارد. برای مثال، برخی از شرکت‌ها از داده‌های ژنتیکی خاک برای پیش‌بینی عملکرد محصولات استفاده می‌کنند، اما این داده‌ها ممکن است حاوی اطلاعات حساسی باشند که در صورت محافظت نامناسب، از آن‌ها سوءاستفاده شود (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰).

نبود شفافیت در روش استفاده شرکت‌ها از داده‌ها نیز می‌تواند بی‌اعتمادی کشاورزان و مصرف‌کنندگان را افزایش دهد. مسائل اخلاقی مانند تصمیم‌گیری خودکار سامانه‌های هوش مصنوعی نیز مطرح است. برای نمونه، در فرایندهای نظارت کیفی غذا، هوش مصنوعی ممکن است براساس الگوریتم‌های ازپیش‌تعیین‌شده، محصولات را حذف کند که از نظر انسانی قابل قبول هستند. این موضوع می‌تواند برای تولیدکنندگان تبعات اقتصادی در پی داشته باشد (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰). سامانه‌های هوش مصنوعی که برای تحلیل علایق غذایی مشتریان استفاده می‌شوند، ممکن است بدون رضایت آگاهانه آن‌ها، داده‌های حساس را جمع‌آوری کنند. این موضوع به‌ویژه در مورد داده‌های مربوط به سلامت و عادات غذایی افراد حساسیت‌برانگیز است (بیدون و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، نبود قوانین شفاف برای مدیریت داده‌ها در برخی کشورها، چالش‌های اخلاقی را تشدید می‌کند و تدوین سیاست‌های دقیق در این زمینه را ضرورت می‌بخشد (برزینا و همکاران، ۲۰۱۹). در صورت بروز این مشکلات، تدوین

می‌کنند. برای نمونه، بروز اختلال در سامانه یک کارخانه تولید مواد غذایی که به‌طور کامل با هوش مصنوعی مدیریت می‌شود، ممکن است باعث توقف کامل فرآیند تولید شود (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰). این موضوع اهمیت حفظ تعادل بین خودکارسازی و دخالت انسانی را نشان می‌دهد.

پیچیدگی الگوها و نیاز به تخصص بالا

الگوهای پیشرفته هوش مصنوعی که در صنایع غذایی استفاده می‌شوند اغلب مانند «جعبه سیاه» عمل می‌کنند؛ یعنی درک شیوه تصمیم‌گیری آن‌ها دشوار است. این نبود شفافیت به‌ویژه در مواردی مانند ارزیابی کیفیت محصولات یا پیش‌بینی ماندگاری مواد غذایی می‌تواند مشکل‌زا باشد، زیرا تصمیم‌گیری‌های نادرست ممکن است پیامدهای ایمنی غذایی جدی به دنبال داشته باشد (بن‌عیاد و هنانه، ۲۰۲۱). علاوه‌براین، توسعه و نگهداری این سامانه‌ها به متخصصانی با مهارت‌های ترکیبی در علوم غذایی و هوش مصنوعی نیاز دارد که یافتن آن‌ها دشوار و پرهزینه است.

چالش‌های یکپارچه‌سازی با سامانه‌های موجود

بسیاری از کارخانه‌های فراوری محصولات کشاورزی و دامی از سامانه‌های فناوری قدیمی و زیرساخت‌های منسوخ استفاده می‌کنند که سازگاری با راه‌حل‌های نوین هوش مصنوعی را دشوار می‌کند. برای مثال، برای پیاده‌سازی سامانه‌های بینایی ماشین در خطوط یک تولیدی با تجهیزات مکانیکی سنتی، باید خط تولید نوسازی کامل شود (پاتلی و ماندریولی، ۲۰۲۰). این چالش به‌ویژه برای تولیدکنندگان کوچک و متوسط که منابع مالی محدودی دارند، می‌تواند مانعی بزرگ برای پذیرش فناوری‌های هوش مصنوعی باشد.

سیاست‌های شفاف حفاظت از داده‌ها، ایجاد چارچوب‌های امنیتی قوی، و آموزش ذی‌نفعان برای استفاده مسئولانه از هوش مصنوعی در صنعت غذا می‌تواند راه‌حلی مناسب باشد.

هزینه‌های زیاد پیاده‌سازی فناوری و نیاز به زیرساخت‌های فناورانه

پیاده‌سازی فناوری‌های هوش مصنوعی و بینایی ماشین در صنعت غذا مستلزم سرمایه‌گذاری‌های کلان در حوزه سخت‌افزار، نرم‌افزار و آموزش نیروی انسانی است. برای مثال، استفاده از پهپادهای مجهز به حسگرهای چندطیفی برای نظارت بر مزارع، به خرید تجهیزات پیشرفته و آموزش کشاورزان برای تفسیر داده‌ها نیاز دارد (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰). برای کشاورزان خرده‌پا یا کشورهای در حال توسعه ممکن است پرداخت این هزینه‌ها ناممکن باشد و شکاف رقمی را افزایش دهد. به‌علاوه، زیرساخت‌های موردنیاز، مانند اینترنت پرسرعت و مراکز پردازش داده، در مناطق روستایی اغلب ضعیف هستند (کاکانی و همکاران، ۲۰۲۰). در مناطقی که این زیرساخت‌ها وجود ندارد، این فناوری‌ها نمی‌تواند به‌خوبی پیاده‌سازی شود. سامانه‌های بینایی ماشین و بینایی الکترونیکی که برای نظارت کیفی مواد غذایی استفاده می‌شوند، به حسگرهای دقیق و الگوریتم‌های پیچیده نیاز دارند که هزینه‌های توسعه و نگهداری آن‌ها بسیار زیاد است (ماوانی و همکاران، ۲۰۲۱).

کاهش اشتغال انسانی

اتکای بیش از حد به هوش مصنوعی و آدمواره‌ها در صنعت کشاورزی و غذا می‌تواند اشتغال نیروی انسانی را کاهش دهد. برای مثال، آدمواره‌های برداشت محصول می‌توانند جایگزین نیروی کار انسانی شوند (ریکامی و همکاران، ۲۰۲۰). این موضوع به‌ویژه در کشورهایی که بخش کشاورزی منبع اصلی درآمد برای بسیاری از افراد است، می‌تواند بحران‌های اجتماعی و اقتصادی ایجاد کند. وابستگی به فناوری‌های پیشرفته، سامانه‌های غذایی را در برابر خرابی‌های فنی یا حملات سایبری آسیب‌پذیر

مسائل مربوط به امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها

با رقمی شدن فرایندهای تولید غذا، خطر حملات سایبری و نقض داده‌های حساس افزایش می‌یابد. سامانه‌های هوش مصنوعی که به داده‌های تولید، دستور ساخت محصولات و اطلاعات مشتریان دسترسی دارند، می‌توانند به اهدافی جذاب برای رخنه‌گر^۱ها باشند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۹). یک نقص امنیتی نه تنها می‌تواند اسرار تجاری را افشا کند، بلکه ممکن است ایمنی غذایی را نیز به خطر بیندازد؛ مثلاً، با دست کاری داده‌های مربوط به دمای نگهداری مواد غذایی یا تاریخ انقضای محصولات مشکل ایجاد کنند.

مقاومت در برابر تغییر و پذیرش فناوری

بسیاری از کشاورزان و تولیدکنندگان مواد غذایی به دلیل ناآگاهی از مزایای هوش مصنوعی یا ترس از پیچیدگی فناوری، در برابر پذیرش آن مقاومت می‌کنند. این موضوع به‌ویژه در مناطق روستایی و کشورهای در حال توسعه مشهود است، جایی که دسترسی به آموزش و منابع فناوری محدود است (کامیلاریس و همکاران، ۲۰۱۷). برای غلبه بر این چالش، حمایت‌های دولتی و ارائه برنامه‌های آموزشی برای تسهیل انتقال به فناوری‌های جدید امری ضروری است.

محدودیت‌های فناوری در محیط‌های پیچیده

هوش مصنوعی در محیط‌های نظارت شده، مانند آزمایشگاه‌ها، عملکرد بهتری دارد، اما در شرایط واقعی صنعت غذا که با متغیرهای غیرقابل پیش‌بینی، مانند تغییرات آب‌وهوایی یا تنوع مواد اولیه مواجه است، ممکن است دقت آن کاهش یابد. برای مثال، سامانه‌های تشخیص بیماری‌های گیاهی در مزارع ممکن است در شرایط نوری مختلف یا با وجود گردوغبار عملکرد ضعیفی داشته باشند (لیاکوس و همکاران، ۲۰۱۸). این محدودیت‌ها، ضرورت توسعه الگوهای هوش مصنوعی مقاوم‌تر و تطبیق‌پذیرتر را نشان می‌دهند.

توصیه‌ها

هوش مصنوعی به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین، توانسته است چالش‌های پیچیده صنعت غذا را از مزرعه تا سفره مدیریت کند. با استفاده از این فناوری، کشاورزان و تولیدکنندگان می‌توانند منابع را بهینه‌سازی کنند، کیفیت محصولات را افزایش داده و ضایعات را کاهش دهند. همچنین، هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای شخصی‌سازی شده، تجربه مصرف‌کنندگان را بهبود بخشیده و به سلامت جامعه کمک می‌کند. با این حال، برای دستیابی به همه مزایای هوش مصنوعی، باید چالش‌هایی مانند هزینه‌های پیاده‌سازی، مسائل اخلاقی، و مقاومت در برابر تغییر را حل کرد. توسعه زیرساخت‌های فناوری و آموزش نیروی انسانی از جمله راهکارهای کلیدی برای تسهیل پذیرش این فناوری در صنعت غذا است. علاوه بر این، تدوین قوانین شفاف برای مدیریت داده‌ها و امنیت سایبری ضرورت دارد.

آینده صنعت کشاورزی و غذا با هوش مصنوعی بسیار امیدوارکننده است. پیشرفت‌های آتی در این حوزه می‌تواند به توسعه سامانه‌های خودکار پیشرفته‌تر، الگوهای پیش‌بینی دقیق‌تر، و راهکارهای پایدارتر و عملکرد بهتر منجر شوند. همکاری بین محققان، صنعتگران، و سیاست‌گذاران می‌تواند به سرعت بخشیدن به این تحولات کمک کند. در نهایت، هوش مصنوعی نه تنها یک ابزار کمکی، بلکه ضرورتی ناگزیر برای صنعت غذا در قرن بیست و یکم است. با برنامه‌ریزی درست و سرمایه‌گذاری هدفمند، این فناوری می‌تواند به یکی از ارکان اصلی امنیت غذایی و پایداری محیط‌زیست تبدیل شود.

منابع

- Rejeb, A., Keogh, J. G., & Zailani, S. (2022). Blockchain in supply chain management: A review and future research directions. *International Journal of Production Research*, 60(1), 1-25.
- How, M. L., Cheah, S. M., & Chan, Y. J. (2020). Artificial

- D. D. (2019). Application of artificial intelligence in sensory and consumer research. *Food Quality and Preference*, 72, 1-11.
- Astray, G., Fernández-González, M., & Rodríguez-Rajo, F. J. (2020). Artificial intelligence in food processing: A review. *Food Reviews International*, 36(4), 1-25.
- Kakani, V., Nguyen, V. H., Kumar, B. P., Kim, H., & Pasupuleti, V. R. (2020). A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100033.
- Sharma, R. (2019). Artificial intelligence in supply chain management: A review. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 22(4), 1-15.
- Garre, P., Ruiz, M. C., & Hontoria, E. (2020). Application of machine learning in food logistics: A review. *Food Control*, 112, 107137.
- Columbus, L. (2020). *How AI is transforming the retail industry*. Forbes.
- Berezina, K., Bilgihan, A., Cobanoglu, C., & Okumus, F. (2019). The impact of AI on customer service in retail. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 50, 1-10.
- Tsoumakas, G. (2019). Machine learning in e-commerce: A review. *Artificial Intelligence Review*, 52(1), 1-38.
- Liu, Y., Li, H., & Peng, G. (2022). Natural language processing in food industry: A review. *Journal of Food Engineering*, 323, 110982.
- Beydoun, G., Hoffman, A., & Bosua, R. (2019). Ethical issues in AI for food industry. *AI & Society*, 34(2), 1-12.
- Rikami, T., Suryanegara, M., & Prasetyo, Y. (2020). The impact of AI on employment in agriculture. *Journal of Agricultural Informatics*, 11(2), 1-15.
- Patelli, E., & Mandrioli, M. (2020). Challenges in integrating AI with existing food production systems. *Food and Bioprocess Technology*, 13(5), 1-15.
- Zhao, Y., Li, Y., & Wang, N. (2019). Cybersecurity in food industry: A review. *Journal of Food Protection*, 82(6), 1-10.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- intelligence for strategic decision-making in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 170-179.
- Goyal, S., & Kumar Goyal, G. (2012). Artificial intelligence in food processing: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 257-266.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- Mavani, N. R., Ali, J. M., Othman, S., Hussain, M. A., & Hashim, H. (2022). Application of artificial intelligence in food industry: A review. *Food Engineering Reviews*, 14(1), 134-175.
- Miranda, J. L., Gerardo, B. D., & Tanguilig, B. T. (2019). Pest detection and extraction using image processing techniques. *International Journal of Computer Applications*, 178(22), 1-7.
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.
- Norby, J., Wang, S., Wang, H., Deng, S., Jones, N., Mishra, A.,... & Lowry, G. V. (2024). Path to autonomous soil sampling and analysis by ground-based robots. *Journal of Environmental Management*, 360, 121130.
- Neethirajan, S. (2020). The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 29, 100367.
- Ben Ayed, R., & Hanana, M. (2021). Artificial intelligence to improve the food and agriculture sectors. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127210.
- Krishna, K. L. (2016). Artificial intelligence for agricultural applications. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(5), 1195-1206.
- Fan, S., Li, J., Zhang, Y., & Tian, X. (2020). On line detection of defective apples using computer vision system combined with deep learning methods. *Journal of Food Engineering*, 286, 110102.
- Tan, J., & Xu, J. (2020). Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality evaluation. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 1-10.
- Gunaratne, N. M., Fuentes, S., Gunaratne, T. M., & Torrico,

Artificial Intelligence in the Food Supply Chain

Somayeh Aziznia¹, Reza Ataei²

1. Assistant Professor, Department of Food Hygiene and Industry, Faculty of Para-Veterinary, Ilam University, Ilam, Iran (Corresponding Author). Email: s.aziznia@ilam.ac.ir

2. Bachelor's Student in Food Science and Engineering, Faculty of Para-Veterinary, Ilam University, Iran. Email: ataiereza81@gmail.com

Abstract

Artificial Intelligence (AI), as one of the most advanced technologies of the modern era, has brought significant transformations to the agricultural industry and food supply. By leveraging machine learning algorithms and artificial neural networks, this technology has wide-ranging applications in optimizing production, quality control, and food supply chain management. Among its key benefits are reduced water and pesticide usage, increased productivity, decreased food waste, and the design of personalized products. However, the implementation of AI faces challenges such as high costs, ethical concerns, and the need for advanced infrastructure. The food supply chain can achieve enhanced productivity and sustainable production through the application of artificial intelligence. This technology not only improves the quality and safety of agricultural products but also enables smarter decision-making through big data analytics. Despite existing challenges, the future of the agriculture and food industry will be profoundly influenced by advancements in AI, requiring cross-sector collaboration to overcome obstacles. This study examines the role of artificial intelligence in optimizing the food supply chain from production to consumption, along with its associated ethical challenges and concerns.

Keywords: *Production Optimization, Food Industry, Waste Reduction, Smart Agriculture, Artificial Intelligence.*